



カルシウム48のシングルベータ崩壊の測定

梅原さおり

umehara@awa.tohoku.ac.jp

東北大学ニュートリノ科学研究センター

概要

二重ベータ崩壊核 ^{48}Ca

^{48}Ca のシングルベータ崩壊

ニュートリノを放出する二重ベータ崩壊の半減期測定

^{48}Ca のニュートリノを放出する二重ベータ崩壊のバックグラウンド

^{48}Ca のシングルベータ崩壊測定方法

スカンジウムへの吸着

樹脂性能調査

CsI(Tl)シンチレータを用いたガンマ線検出

二重ベータ崩壊核 ^{48}Ca

二重ベータ崩壊

◆ 高いQ値(4.27MeV)

◆ 低バックグラウンド測定を行いやすい

◆ ニュートリノを放出する二重ベータ崩壊

◆ 半減期： 10^{19} 年～ 10^{20} 年

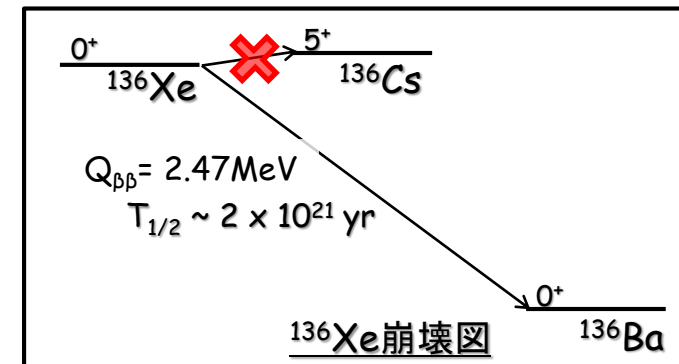
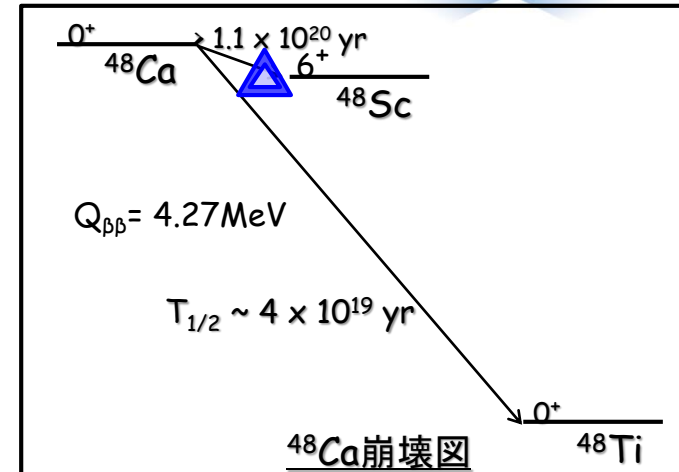
シングルベータ崩壊

◆ β 崩壊がエネルギー的に禁止されていない
(スピン遷移則で抑制されている)

→ β 崩壊が起こりえる

⇔ ^{136}Xe の場合

β 崩壊がエネルギー的に禁止



二重ベータ崩壊核 ^{48}Ca

・ベータ崩壊はエネルギー的に禁止されていない。

→ベータ崩壊が起こりえる：半減期測定



シングルベータ崩壊



◆ シングルベータ崩壊測定の必要性、、、の前に

◆ $0\nu\beta\beta$ 崩壊測定：バックグラウンドの見積もりが重要

◆ $0\nu\beta\beta$ 測定のバックグラウンド

→ $2\nu\beta\beta$ 崩壊

◆ ^{48}Ca の $2\nu\beta\beta$ 崩壊の半減期

◆ これまでの測定結果

◆ $(4.2^{+3.3}_{-1.3}) \times 10^{19}$ 年, $^{48}\text{CaCO}_3$ (3.5g ^{48}Ca), ~1年 PLB495(2000)63

◆ $(4.3^{+2.4}_{-1.1} \pm 1.4) \times 10^{19}$ 年, $^{48}\text{CaCO}_3$ 42g, 102+167日 PRL77(1996)5186

◆ $(6.4^{+0.7}_{-0.6} (\text{stat})^{+1.2}_{-0.9} (\text{syst})) \times 10^{19}$ 年, $^{48}\text{CaF}_2$ (^{48}Ca 6.99g),
PRD93(2016)112008

^{48}Ca の $0\nu\beta\beta$ 崩壊の測定

- ・バックグラウンドの見積もりが重要
- ・バックグラウンド候補は $2\nu\beta\beta$ 崩壊：半減期測定結果にばらつきあり。

シングルベータ崩壊

CANDLESで $2\nu\beta\beta$ 崩壊測定

ベータ崩壊起源事象がバックグラウンドに

:

シングルベータ崩壊後の核 ^{48}Sc

半減期44時間

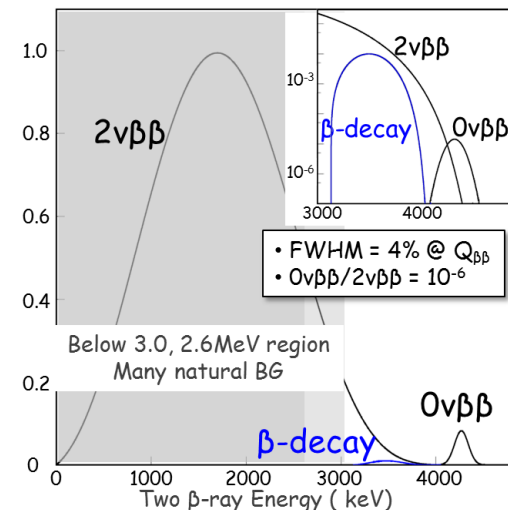
Q値 : 3990keV

ベータ線(~660keV)+ガンマ線(1.0MeV, 1.3MeV, 1.0MeV)

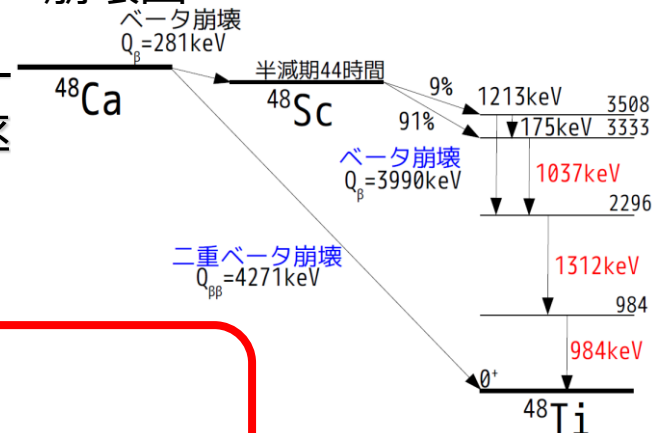
CANDLESの場合: CaF_2 (10cm角)内でベータ線、ガンマ線、ともに検出される確率高い。

→高エネルギー事象として観測される。

エネルギースペクトル



崩壊図



^{48}Ca のシングルベータ崩壊

- ^{48}Ca の $2\nu\beta\beta$ 崩壊のバックグラウンドとなる。
CANDLES検出器において、その影響は大きい。

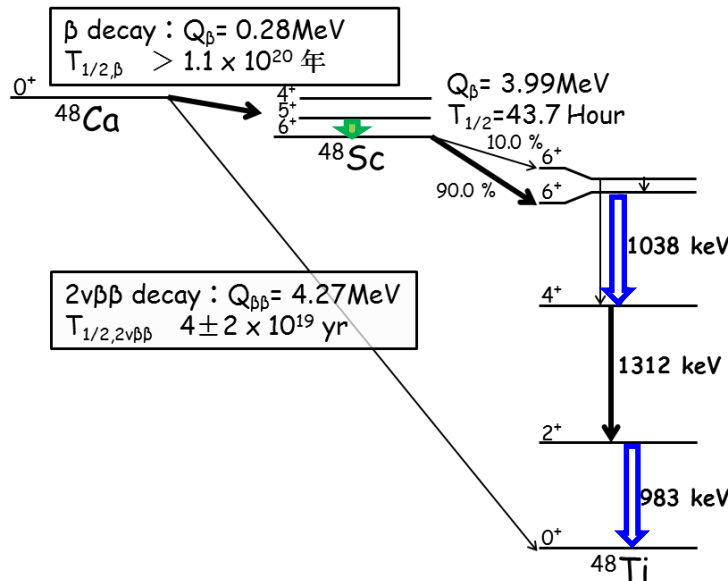


^{48}Ca ベータ崩壊の測定

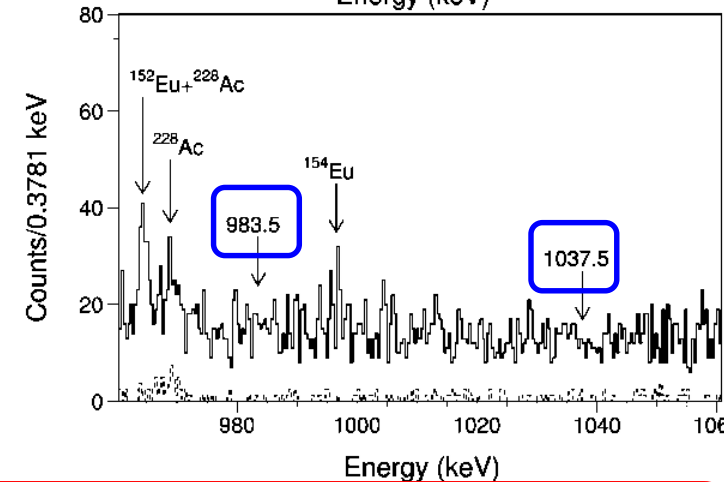
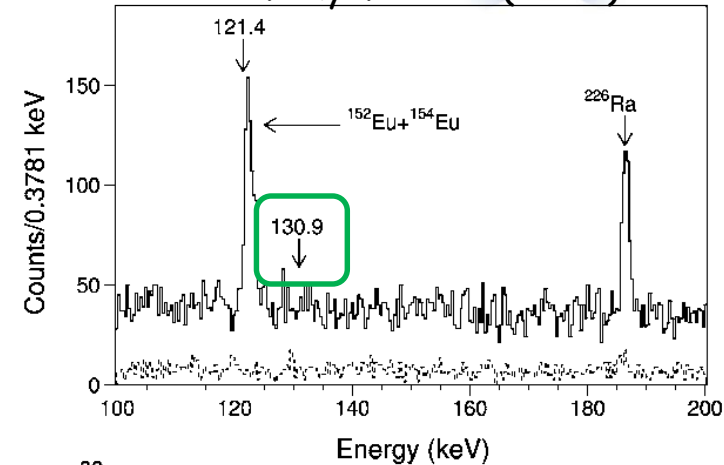


これまでの ^{48}Ca ベータ崩壊測定

- 濃縮 $^{48}\text{CaCO}_3$ (^{48}Ca :20.18g)
- Ge検出器(400cc)使用, 測定時間797時間
- 半減期: ピークは観測されず
 - $>0.71 \times 10^{20}$ 年(6+, G.S.)
 - $>1.1 \times 10^{20}$ 年(5+)
 - $>0.82 \times 10^{20}$ 年(4+)



A. Bakalyarov et al.
 Nucl. Phys. A 700 (2002)17-24



^{48}Ca のシングルベータ崩壊の高感度測定

- もっと大量の濃縮 ^{48}Ca を使う?? → それは、 $0\nu\beta\beta$ 測定に使うべきだろう。。。
- 別の方法でシングルベータ崩壊測定を目指す。

新しい測定方法

スキャンジウム吸着による高感度測定

大量のカルシウム(^{48}Ca 含む)中から、スキャンジウムを選択性樹脂に吸着させる

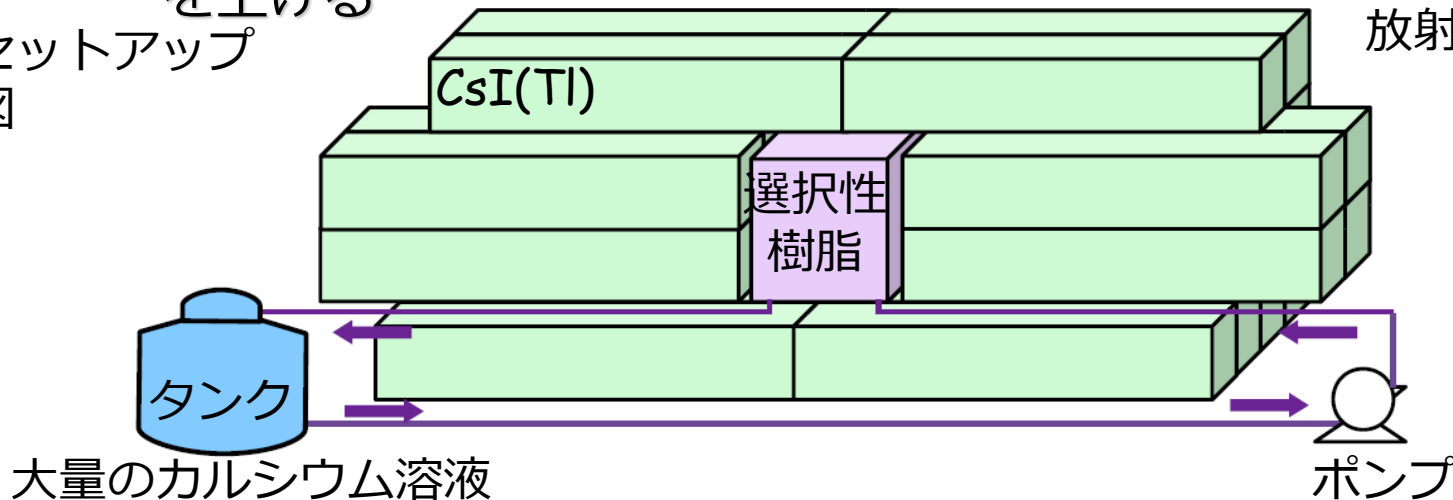
大量のカルシウムサンプル。

だが測定すべきスキャンジウムはコンパクト。

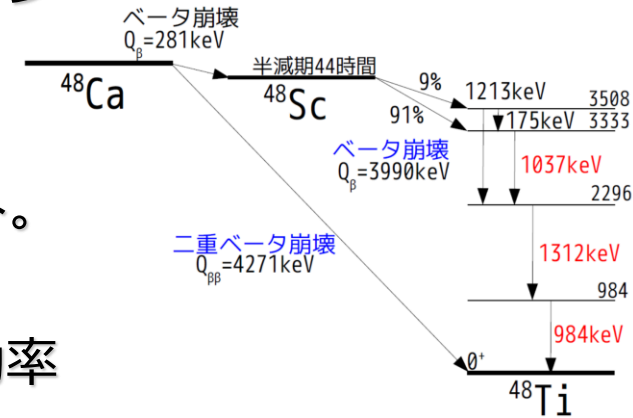
放出されるガンマ線をCsI(Tl)で検出。

樹脂の全方向を囲む→ガンマ線検出効率を上げる

実験セットアップ
概念図



崩壊図



放射平衡を仮定



スカンジウム吸着樹脂



選択性樹脂

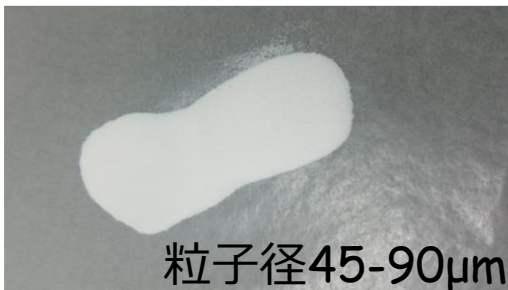
条件

- スカンジウムを効率よく吸着する
- カルシウムは吸着しない
 - スカンジウムに対して、カルシウム量が多いため。
- 高流速可：大量のカルシウムを流すため。

候補樹脂：キレート樹脂

*イオン交換樹脂も試したが、流速あげられず。

CHELATE-PA1



粒子径45-90μm

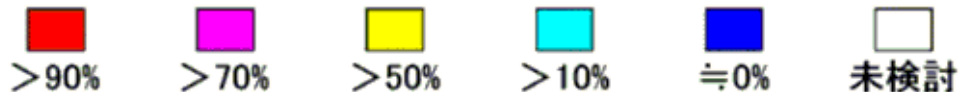
カルシウム≒0%

スカンジウム>90%

各元素の吸着率

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Lanth.	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Act.															

Lanth.	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Act.	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

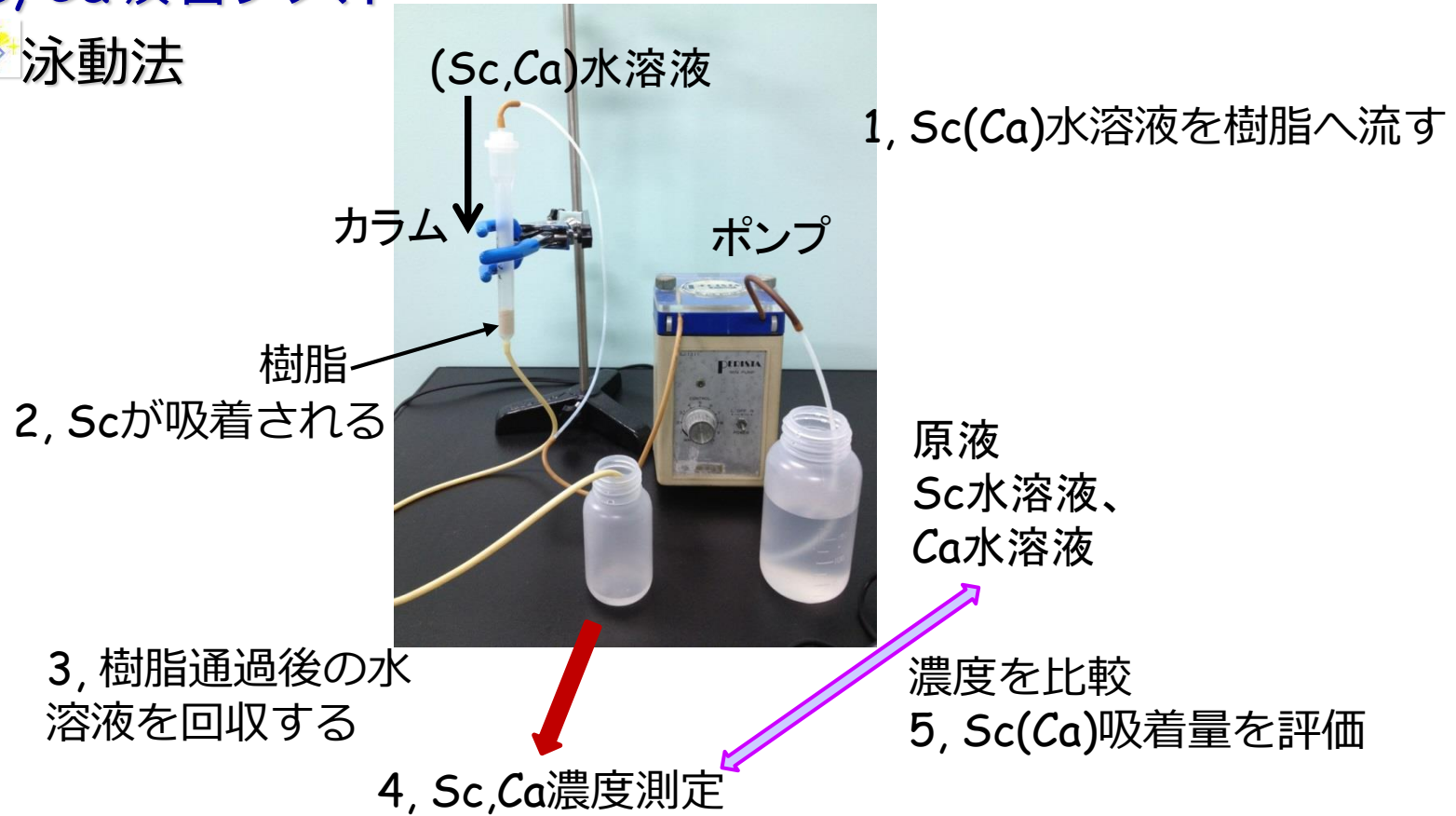


試料 pH : 6

Sc, Ca吸着テスト

Sc, Ca吸着テスト

泳動法



シングルベータ崩壊測定時と同様、泳動法にて吸着量を評価。

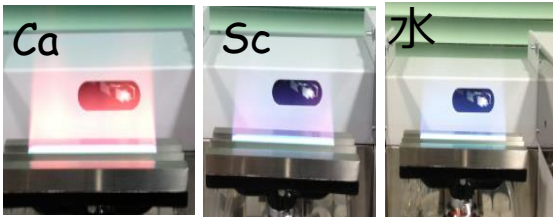
Sc, Ca濃度測定

Sc, Ca濃度測定

炎光分析器



スペクトロメータ



Ca, Sc spectrum

測定方法変更

ICP-MS



Agilent 7900

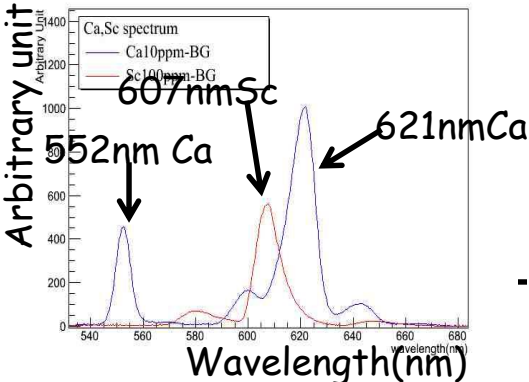
スカンジウム測定

^{45}Sc を測定

カルシウム測定

^{44}Ca (天然同位体比2%)を測定

→感度改善



ピーク強度を測定

測定感度

Ca ; ~ 0.1 ppm

Sc ; ~ 10 ppm

・カルシウム中の微量Scの測定は難しい

新

ICP-MSを使用

Sc濃度の測定精度が改善

スカンジウム吸着樹脂

選択性樹脂

候補キレート樹脂の性能調査

Sc吸着量のpH依存性

Ca吸着量のpH依存性

*一般的にpHが高いほうが吸着率高い

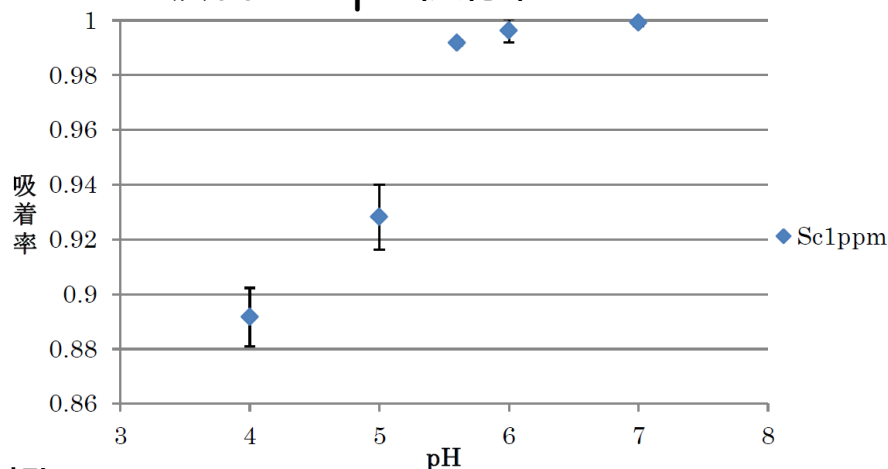
実験セットアップ

キレート樹脂
0.25g

Sc溶液
Ca溶液

出てきた溶液濃度を測定
→吸着量見積もり

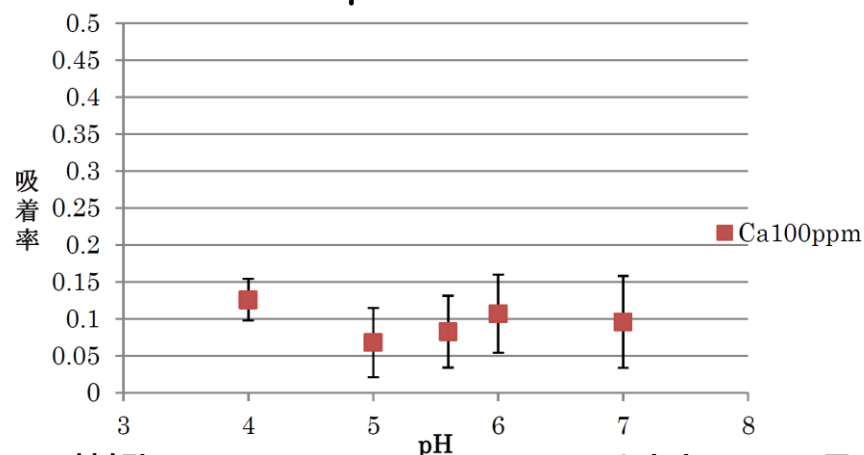
Sc吸着量のpH依存性



樹脂0.25g
Sc 1ppm, 20ml

pH5.6で99%

Ca吸着量のpH依存性



樹脂0.25g
Ca 100ppm, 20ml

*pH8以上では吸着率が増加

- Sc吸着量：pH5.6で99%
- Ca吸着量：pH5.6では十分に低いことを確認

スカンジウム吸着樹脂

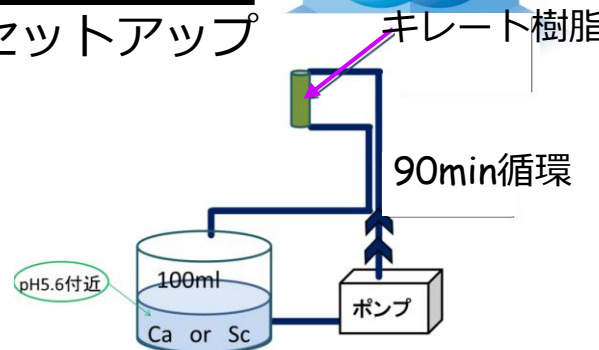
選択性樹脂

候補キレート樹脂の性能調査

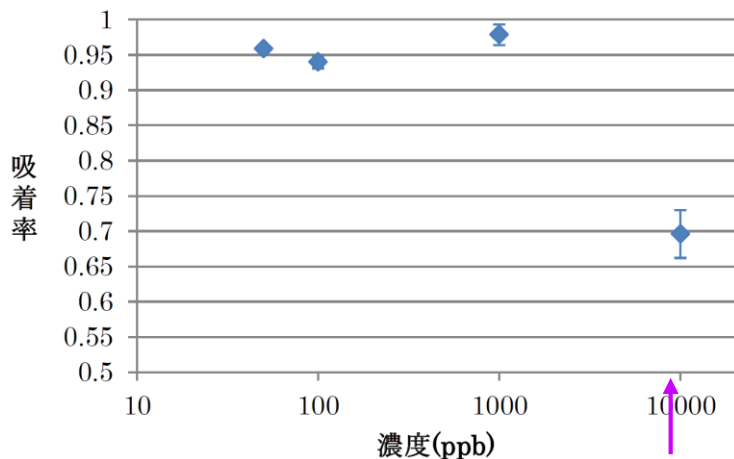
Sc吸着率の濃度依存性

Sc吸着率(Sc,Ca混合液)の流速依存性

実験セットアップ



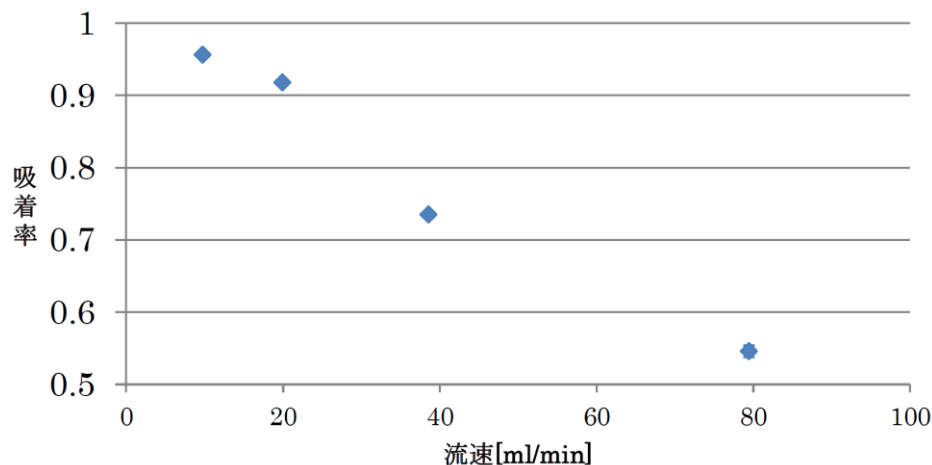
Sc吸着率の濃度依存性



樹脂0.5g(吸着容量6mg)
Sc 各濃度, 100ml

吸着容量の1/6

Sc吸着率(Sc,Ca混合液)の流速依存性



樹脂1g
Sc 10ppm, Ca12%

Scの反応速度が遅い?
吸着されたものがはずれる?

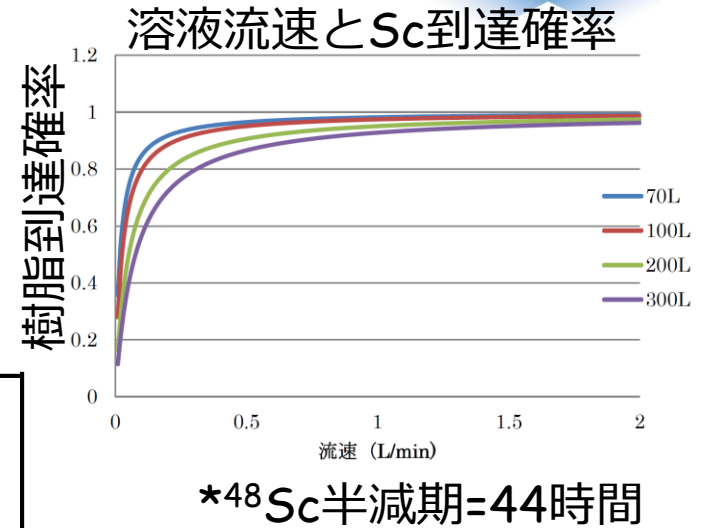
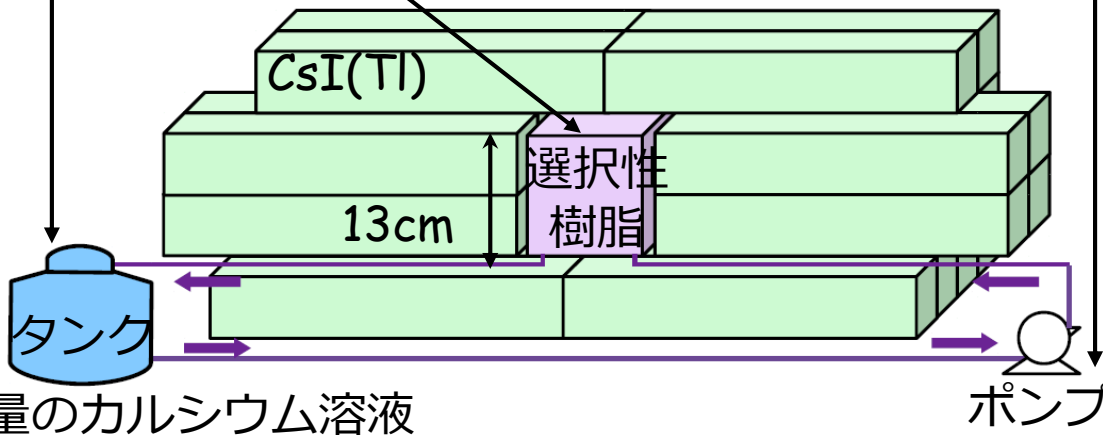
- 樹脂へ均一に溶液を流す必要あり。
- Sc反応速度を考慮して、樹脂量の決定が必要。

測定セットアップ

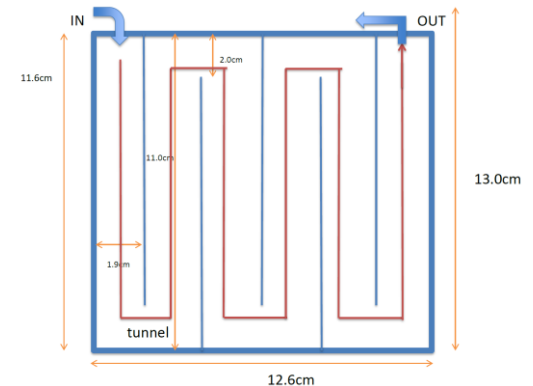
シングルベータ崩壊の測定

Sc濃縮装置

- カルシウム溶液600l
- カルシウム濃度 12% (^{48}Ca 100g)
- 流速 2l/min
- 樹脂 ~1500g



樹脂容器の例

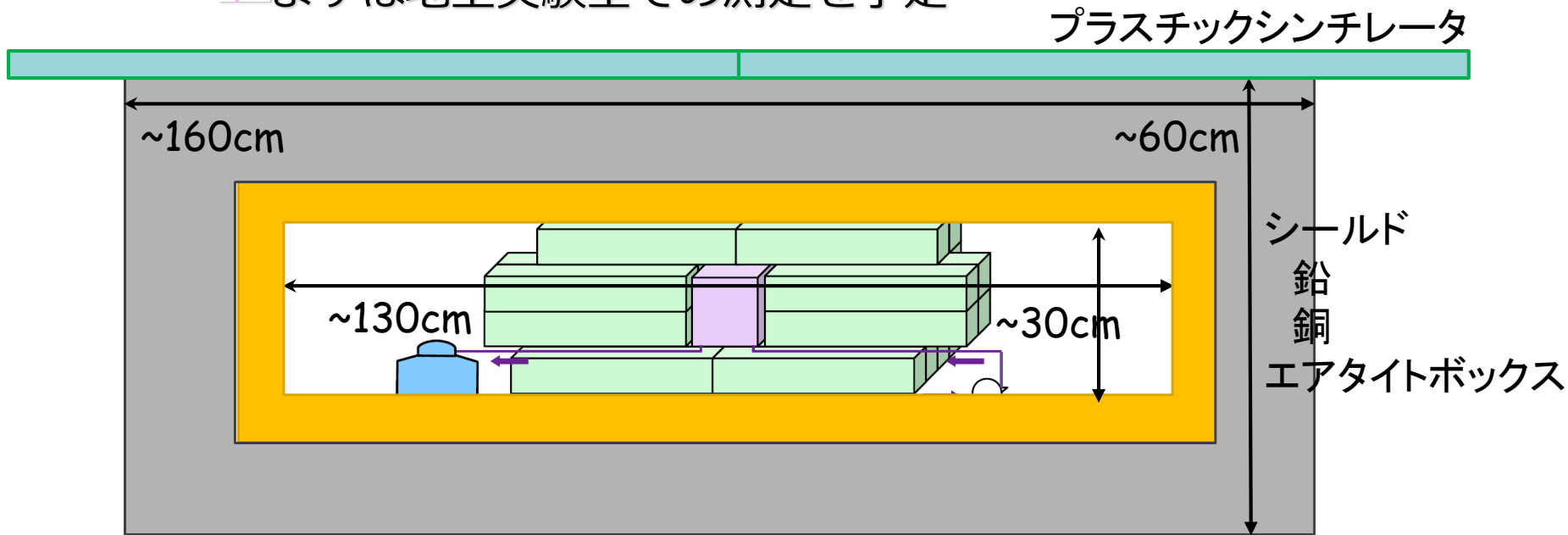


測定セットアップ

シングルベータ崩壊測定

ガンマ線検出装置

- 32本CsI(Tl)シンチレータ(6x6x35cm) : ガンマ線検出用
- 3本ガンマ線の(3 or 2)同時計数測定 ~5%効率:BG候補は ^{214}Bi , ^{208}Tl
- 要バックグラウンド低減
 - まずは地上実験室での測定を予定



1年測定で半減期測定感度 10^{21} 年を目指す









まとめ



^{48}Ca のシングルベータ崩壊

-  $0\nu\beta\beta$ 崩壊測定バックグラウンドである $2\nu\beta\beta$ の半減期測定
-  $2\nu\beta\beta$ 崩壊バックグラウンドとなるシングルベータ崩壊

新しい方法によるシングルベータ崩壊の測定

-  スカンジウムから放出されるガンマ線の検出
-  スカンジウム吸着による高感度化
 -  高検出効率：サンプル領域をコンパクトにし、全方向をCsI(Tl)シンチレータで囲む
 -  濃縮効果による体積あたりのバックグラウンド低減
 -  候補樹脂を選定
 -  装置大型化→目指す測定感度：半減期 10^{21} 年